

PEMODELAN TRANSFER PANAS DAN MASSA PADA PROSES PENGGORENGAN

Supriyanto¹, Budi Rahardjo², Y. Marsono³, Supranto⁴

ABSTRACT

Simultaneous process heat and mass (moisture and oil) transfer that occur during frying process can be made mathematical model using basic principal heat and mass transfer. Heat transfer within material was predicted by Fourier's law, while mass transfer within material was formulated with Fick's law. The objective of this study was to develop mathematical model of heat, moisture and oil transfer that occur simultaneously on the starchy food during frying. Solution of the model with numerical analysis used implicit finite difference method of Crank-Nicolson. Simulation output consisted of temperature, moisture and oil profiles.

Slabs of dried dough corn powder were fried in the fresh coconut oil for different time at 180°C. Temperature of material was recorded with datalogger during frying process, and some of sampel were taken from deep fryer at certain time to be determined the moisture and oil content. The model was verified by comparison of the predicted temperature, moisture and oil profiles with experimental data. A good agreement between the predicted and experimental data was obtained.

Key words : Frying process, mathematical model, heat and mass transfer

PENDAHULUAN

Penggorengan merupakan fenomena transpor yang terjadi secara simultan, yaitu transfer panas, transfer massa air dan transfer (serapan) massa minyak. Panas ditransfer dari minyak ke bahan, massa air diuapkan dari bahan, dan minyak diserap oleh bahan (Sahin *et al.*, 1999). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses transfer panas dan massa tersebut adalah sifat-sifat *thermal* dan *physicochemical* bahan dan minyak, bentuk geometri bahan, suhu minyak, dan perlakuan bahan sebelum digoreng (Krokida *et al.*, 2001). Proses transfer panas pada bahan yang sedang digoreng terjadi dalam dua cara. Transfer panas dari minyak goreng ke bahan terjadi secara konveksi dan transfer panas dalam bahan terjadi secara konduksi (Costa *et al.*, 1999). Akibat adanya proses transfer panas, bahan makanan yang digoreng akan mengalami kenaikan suhu (Sahin *et al.*, 1999), bersamaan dengan itu terjadilah pemasakan bahan makanan yang antara lain ditandai dengan penurunan kadar air, gelatinisasi pati dan denaturasi protein.

Kecepatan transfer panas dari minyak ke bahan dipengaruhi oleh suhu minyak, koefisien transfer panas konveksi minyak, koefisien transfer panas

konduksi bahan dan bentuk dimensi serta ukuran bahan. Kecepatan transfer massa air dari bahan ke lingkungan (minyak) dipengaruhi oleh kadar air awal bahan, difusivitas bahan dan bentuk dimensi serta ukuran bahan. Kecepatan transfer (serapan) minyak oleh bahan dipengaruhi oleh suhu minyak, viskositas minyak, porositas bahan, perbedaan tekanan kapiler. Pada penggorengan bahan makanan berpati ketiga proses transfer yang terjadi diikuti dengan pengembangan granula pati yang ditunjukkan dengan pengembangan volumenya.

Pengendalian perilaku proses transfer yang terjadi pada bahan makanan yang sedang digoreng pada peralatan dan mesin penggorengan yang digunakan pada industri pengolahan bahan makanan memerlukan serangkaian data yang menggambarkan perilaku variabel-variabel yang berhubungan baik dengan proses maupun bahan yang digoreng. Untuk memperoleh serangkaian data tersebut mengalami banyak kesulitan dalam pengamatannya karena ada beberapa variabel yang tidak dapat diukur secara langsung. Kesulitan-kesulitan tersebut disebabkan oleh beberapa hal, antara lain : proses berlangsung relatif cepat dan simultan, volume bahan yang digoreng cukup besar namun dalam satuan yang kecil-

¹⁾ Ir. Supriyanto, MP. adalah mahasiswa Program S-3 Program Studi Teknik Pertanian Sekolah Pascasarjana UGM; Dosen pada Fakultas Pertanian UNISMA Bekasi

²⁾ Prof. DR. Ir. Budi Rahardjo, MSAE. adalah Dosen/Guru Besar pada Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM

³⁾ Prof. DR. Ir. Y. Marsono, MS. adalah Dosen/Guru Besar pada Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM

⁴⁾ Ir. Supranto, M.Sc., Ph.D. adalah Dosen/Lektor Kepala pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UGM

kecil, tenaga pengukur yang terbatas serta adanya saling keterkaitan antar variabel yang berpengaruh terhadap proses. Untuk mengatasi kesulitan-kesulitan tersebut dapat dilakukan dengan pendekatan melalui prediksi menggunakan model matematik yang dikembangkan berdasarkan fenomena proses transfer yang terjadi pada proses penggorengan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematik proses transfer panas, massa air dan massa minyak pada bahan makanan berpati selama penggorengan yang diselesaikan secara simultan dengan menggunakan pendekatan numeris.

Bird, *et al.* (2002) mengemukakan tentang laju panas yang mengalir melewati bahan setebal z dan seluas A dengan cara konduksi mengikuti *hukum Fourier* tentang konduksi panas sebagai berikut

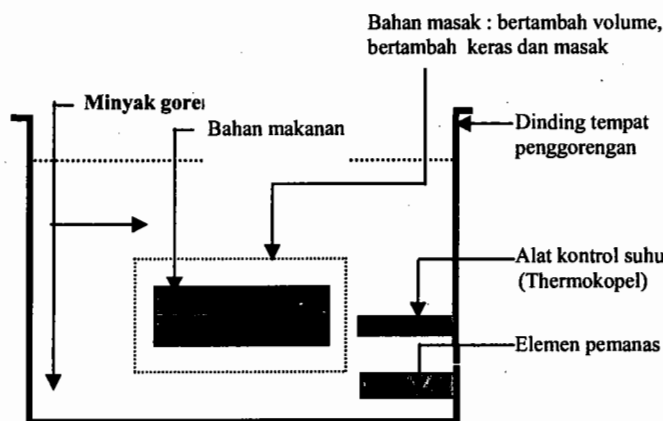
$$Q = -k A \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1),$$

dimana k adalah konstante proporsionalitas yang melambangkan konduktivitas panas bahan dalam satuan $W/m K$ (W/m^0C).

Laju massa cairan yang mengalir melewati bahan setebal z dan seluas A dengan cara difusi mengikuti *hukum Fick* tentang difusi sebagai berikut :

$$N = -D A \frac{\partial X}{\partial z} \quad (2),$$

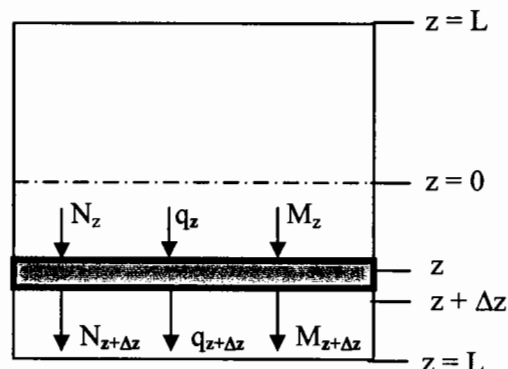
dimana D adalah konstante difusifitas cairan dalam bahan (m^2/dt)



Gambar 1. Sistem menggoreng *deep fat frying*

Sistem menggoreng celup minyak (*deep fat frying*) dilakukan dengan cara mencelupkan bahan makanan ke dalam minyak goreng panas yang bertemperatur di atas titik didih air, temperatur minyak biasanya berkisar antara $150^0C - 200^0C$.

Peralatan penggorengan terdiri dari : tempat minyak (*wajan*), elemen pemanas, alat kontrol suhu minyak (*thermokopel*) dan alat kontrol waktu. Secara skematis sistem menggoreng *deep fat fryng* dilukiskan pada Gambar 1. Model matematik transfer panas, transfer massa air dan transfer massa minyak pada bahan makanan selama proses penggorengan disusun berdasarkan pada elemen volume setebal Δz , seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Model potongan elemen volume bahan makanan

Model transfer panas pada bahan diturunkan berdasarkan asumsi sebagai berikut :

1. Bahan yang digoreng berbentuk slab, karena tebal bahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar bahan
2. Temperatur minyak goreng seragam
3. Transfer panas berlangsung secara konduksi dan hanya satu arah mengikuti sumbu z (ke arah tebal slab)

Persamaan matematik untuk transfer panas yang dapat diturunkan sebagai berikut

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho C_p}{k} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{k} \Delta H_G r_G + \frac{1}{k} \Delta H_C r_C \quad (3),$$

dengan keadaan batas untuk peristiwa ini adalah : kondisi awal (*initial condition / IC*) :

$$T(z,0) = T_{awal \text{ bahan}} \text{ untuk semua posisi } z \quad (4),$$

kondisi batas (*boundary conditions / BC*) :

$$1. \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \quad (5),$$

$$2. -k \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=L} = h (T_s - T_{oil}) \quad (6),$$

$$\begin{aligned}
 &3a. T(z,t) < T_{G1}, \Delta H_{r1} = 0 \text{ J/gr} \\
 &3b. T_{G1} \leq T(z,t) < T_{cr}, \\
 &\quad \Delta H_{r1} = (aT^2 + bT + c) \text{ J/gr} \\
 &4. T_{cr} \leq T(z,t) \leq T_m, \\
 &\quad \Delta H_{r2} = (aT^2 + bT + c) \text{ J/gr}
 \end{aligned} \quad (7), \quad (8),$$

Model transfer massa air pada bahan diturunkan berdasarkan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Bahan yang digoreng berbentuk slab, karena tebal bahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar bahan
2. Transfer massa air berlangsung secara difusi dan hanya satu arah mengikuti sumbu z ke arah tebal slab.

Persamaan matematik transfer massa air diperoleh dengan bentuk sebagai berikut

$$Dw \frac{\partial^2 X_w}{\partial z^2} = \frac{\partial X_w}{\partial t} + r_G + r_C \quad (9),$$

dengan keadaan batas untuk peristiwa ini adalah :
kondisi awal (*initial condition / IC*) :

$$X_w(z,0) = X_{w \text{ awal bahan}} \text{ untuk semua posisi } z \quad (10),$$

kondisi batas (*boundary conditions / BC*) :

$$1. \left. \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\partial X_w}{\partial z} \right] \right|_{z=0} = 0 \quad (11),$$

$$2. -Dw \left. \frac{\partial X_a}{\partial z} \right|_{z=L} = K_{yw} (Y_{ws} - Y_w) \quad (12)$$

Model transfer massa minyak tersebut dapat diturunkan berdasarkan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Bahan yang digoreng berbentuk slab, karena tebal bahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar bahan
2. Transfer massa minyak berlangsung secara difusi dan hanya satu arah mengikuti sumbu z ke arah tebal slab.

Persamaan matematik transfer massa minyak dapat diturunkan sebagai berikut :

$$Do \frac{\partial^2 X_o}{\partial z^2} = \frac{\partial X_o}{\partial t} \quad (13),$$

dengan keadaan batas untuk peristiwa ini adalah :
kondisi awal (*initial condition / IC*) :

$$X_o(z,0) = X_{o \text{ awal bahan}} \text{ untuk semua posisi } z \quad (14),$$

kondisi batas (*boundary conditions / BC*) :

$$1. \left. \frac{\partial X_o}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \quad (15),$$

$$2. X_o \Big|_{z=L} = 1 \quad (16)$$

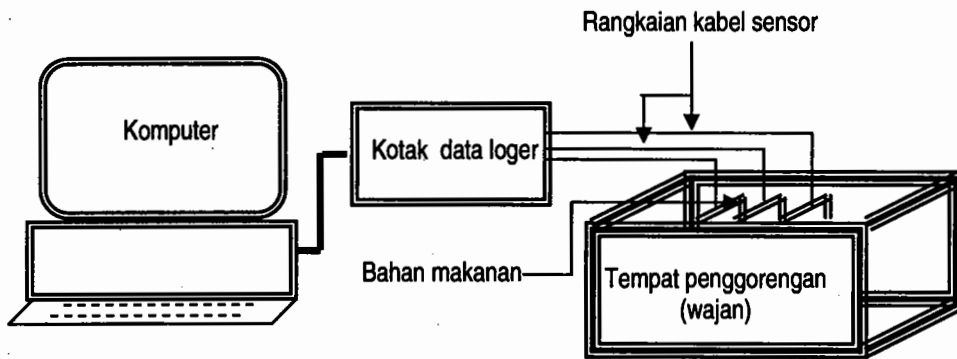
Persamaan (3) sampai dengan persamaan (16) di atas akan diselesaikan secara numerik dengan metode *Crank - Nicolson* dan perhitungannya menggunakan program komputer bahasa BASIC.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan adalah jagung (varietas non waxy corn dan waxy corn) yang dibeli di Balai Benih Jagung dan Palawija-Wonosari-Gunungkidul, air, minyak goreng kelapa sawit sebagai media untuk menggoreng, dan bahan kimia petroleum eter untuk analisa kadar minyak.

Alat yang digunakan terdiri dari: alat penggoreng (*Deep Fryer*), oven listrik, *thermocuple*, thermometer air raksa, *stopwatch*, seperangkat alat ukur suhu *dataloger* lengkap, timbangan analitik, cawan porselin, eksikator, pinset, aluminium foil, seperangkat alat untuk analisa kadar minyak meliputi labu soxhlet, tabung soxhlet dan kertas saring dan seperangkat alat untuk uji kadar air.

Pelaksanaan penelitian. Jagung pipil digiling menjadi tepung, Tepung jagung ditimbang secukupnya sesuai dengan jumlah sampel yang dibutuhkan. Adonan tepung jagung dibuat dengan cara mencampur tepung dengan air mendidih, tepung jagung diaduk-aduk dengan air mendidih sampai terbentuk adonan yang plastis. Air mendidih yang diperlukan setiap 1 kg tepung adalah 850 ml sampai 900 ml. Adonan dicetak berbentuk slab dengan ukuran (20 x 20 x 1) cm. Adonan dikukus selama 1 jam. Adonan dikeringkan dengan hembusan *blower* tanpa adanya pemanasan, waktu pengeringan disesuaikan dengan perlakuan yang telah direncanakan.



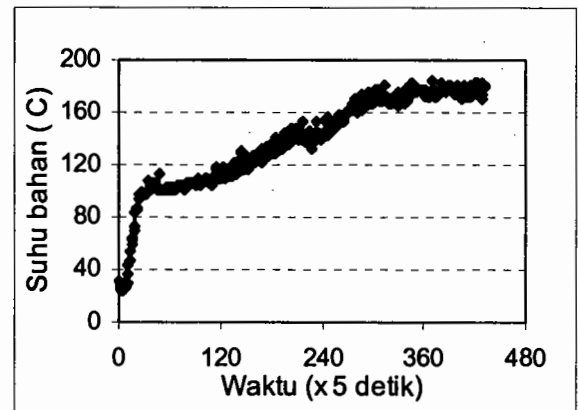
Gambar 3. Skema rangkaian peralatan yang digunakan dalam penelitian

Peralatan penggorengan beserta perlengkapannya disiapkan. Minyak goreng dituangkan ke dalam tempat penggorengan (wajan). Peralatan ukur suhu (*datalogger*) beserta perlengkapan pendukungnya disiapkan. Sampel bahan makanan (adonan) yang telah kering disiapkan, sekalian dilakukan pengukuran kadar air awal bahan sebelum digoreng dengan metode gravimetri. Alat sensor suhu dipasang pada bagian pusat atau tepi bahan sampel. Alat sensor suhu bahan tersebut dihubungkan dengan *datalogger* yang telah tersambung dengan *Personal Computer*. Alat penggorengan dinyalakan, suhu minyak diatur sesuai dengan perlakuan. Penggorengan bahan makanan dilakukan. Perubahan suhu bahan selama proses penggorengan dapat langsung diamati pada monitor personal computer, data suhu bahan yang terbaca akan disimpan dalam datalogger. Bahan yang telah masak goreng diukur kadar air dan kadar minyaknya, kadar air diukur dengan metode gravimetri dan kadar minyak diukur dengan metode soxhlet. Uji organoleptik terhadap bahan masak goreng pada setiap perlakuan proses penggorengan dilakukan untuk mengetahui kriteria kualitatif kemasakan bahan goreng yang optimum.

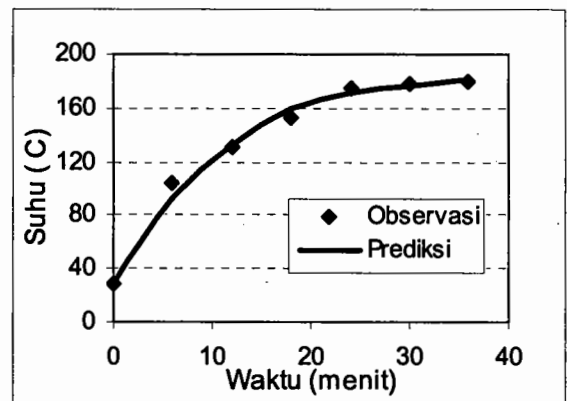
Evaluasi parameter-parameter : C_p , k , D_w , K_yw , ΔH_G , r_G , ΔH_C dan r_C dilakukan dengan metode minimasi SSE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses penggorengan merupakan proses transfer panas dan transfer massa yang berlangsung secara simultan (Sahin *et al.*, 1999). Transfer panas berupa perpindahan panas dari sumber panas ke bahan melalui media minyak goreng dan transfer massa berupa perpindahan massa air dari dalam ke permukaan bahan yang kemudian diakhiri dengan penguapan air serta transfer massa minyak dari permukaan ke dalam bahan.



Gambar 4. Riwayat suhu observasi bahan makanan berpati selama penggorengan, suhu diukur pada pusat bahan, suhu minyak dikendalikan pada 180°C, waktu penggorengan selama 36 menit



Gambar 5. Riwayat suhu observasi dan prediksi bahan makanan berpati selama penggorengan, suhu terukur dan terhitung ditampilkan pada selang waktu setiap 6 menit, suhu minyak dikendalikan pada 180°C, waktu penggorengan selama 36 menit

Adanya transfer panas dari minyak ke bahan menyebabkan suhu bahan naik (Gambar 4), mula-mula suhu bahan sama dengan suhu lingkungan sekelilingnya (28.5°C) dan akhirnya suhu bahan akan menyamai suhu minyak goreng (180°C). Gambar 4 menunjukkan riwayat suhu hasil pengukuran bahan selama penggorengan, pada awal waktu penggorengan suhu bahan terendah (28.5°C), dalam waktu yang sangat singkat (di bawah 5 menit) suhu bahan mengalami kenaikan yang sangat cepat untuk menyamai suhu penguapan air (100°C), kemudian suhu bahan konstan beberapa saat (selama lebih kurang 2 sampai 3 menit) pada kisaran suhu 100°C , kemudian suhu bahan perlahan-lahan naik menyamai suhu minyak goreng (180°C), sampai pada akhir penggorengan suhu bahan relatif tetap pada 180°C .

Proses kenaikan suhu bahan yang digoreng dipengaruhi oleh kecepatan transfer panas dari minyak ke dalam bahan, transfer panas dari minyak goreng ke bahan terjadi secara konveksi dan transfer panas dalam bahan terjadi secara konduksi (Costa *et al.*, 1999) Kecepatan proses transfer panas antara lain dipengaruhi oleh sifat-sifat termis bahan (k dan C_p), kadar air awal bahan, suhu minyak goreng, sedangkan nilai k dan C_p bahan secara simultan bervariasi dengan perubahan suhu dan kadar air bahan. Kasus pada penelitian ini diduga proses transfer panas juga dipengaruhi oleh panas reaksi dan konstante kecepatan reaksi pada bahan akibat adanya pemanasan (Persamaan (3)). Estimasi parameter menggunakan metode Hooke – Jeeves (Rudd and Watson, 1968) dari data hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai k dan C_p masing-masing merupakan fungsi suhu dan kadar air seperti berikut ini :

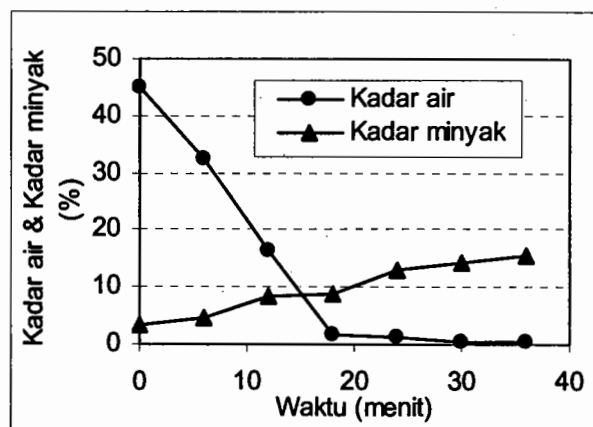
$$k = 2.462\text{E-}04 + 6.204\text{E-}06 T + 2.509\text{E-}04 K_a \quad (17)$$

$$C_p = 2.081\text{E+}04 + 1.990\text{E-}05 T + 8.000\text{E-}04 K_a \quad (18)$$

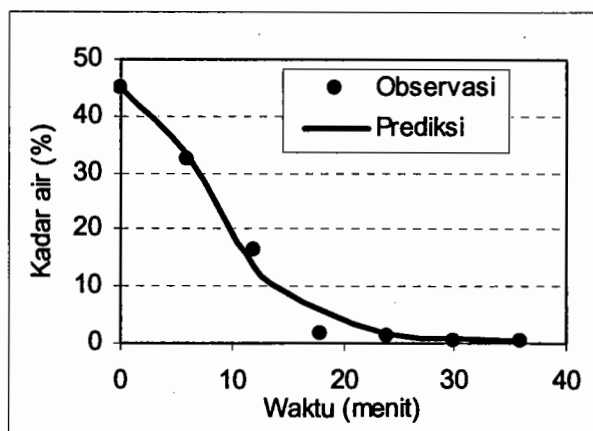
dimana nilai k adalah konduktifitas panas bahan ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$), C_p adalah panas spesifik bahan ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$), T adalah suhu bahan ($^{\circ}\text{C}$) dan K_a adalah kadar air bahan (%).

Model matematik transfer panas yang ditunjukkan pada Persamaan (3) dapat digunakan untuk memprediksi riwayat suhu bahan makanan selama penggorengan, grafik riwayat suhu hasil prediksi dilukiskan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 tampak bahwa garis prediksi suhu bahan berdekatan dengan titik titik suhu observasi. Kedekatan nilai-nilai tersebut secara statistik juga ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0.991 ($R^2 > 0.75$),

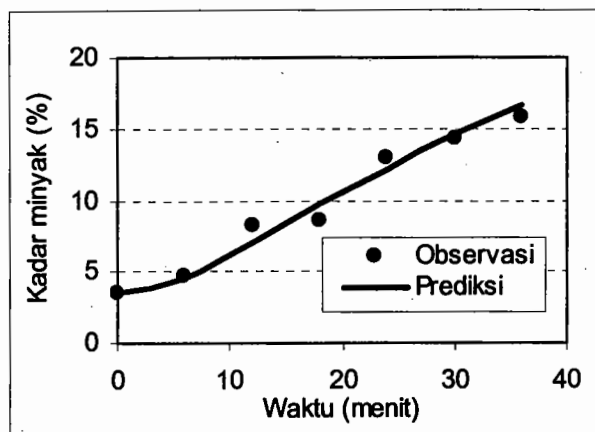
nilai R^2 tersebut menunjukkan bahwa model valid untuk memprediksi riwayat suhu bahan makanan selama penggorengan (Edwards, 1976).



Gambar 6. Riwayat kadar air dan kadar minyak observasi bahan makanan berpati selama penggorengan, kadar air dan kadar minyak bahan diukur setiap selang waktu 6 menit, suhu minyak dikendalikan pada 180°C , waktu penggorengan selama 36 menit



Gambar 7. Riwayat kadar air observasi dan prediksi bahan makanan berpati selama penggorengan, kadar air terukur dan terhitung ditampilkan pada selang waktu setiap 6 menit, suhu minyak dikendalikan pada 180°C , waktu penggorengan selama 36 menit



Gambar 8. Riwayat kadar minyak observasi dan prediksi bahan makanan berpati selama penggorengan, kadar minyak terukur dan dihitung ditampilkan pada selang waktu setiap 6 menit, suhu minyak dikendalikan pada 180°C, waktu penggorengan selama 36 menit

Krokida *et al.* (2001) telah melakukan pengamatan terhadap perubahan kadar air dan kadar minyak pada bahan selama penggorengan, namun belum mengungkap secara matematik proses yang menyebabkan terjadinya kedua peristiwa tersebut. Pada penelitian ini peristiwa penurunan kadar air dan kenaikan kadar minyak bahan selama penggorengan ditunjukkan pada Gambar 6. Perubahan kadar air bahan pada awal penggorengan sampai pada menit ke 18 terjadi sangat cepat dengan kadar awal 45% hingga 1.58%, selanjutnya kadar air bahan relatif konstan hingga akhir penggorengan yaitu dengan kadar air akhir 0.41%. Gambar 6 juga menggambarkan fenomena kenaikan kadar minyak bahan, pada awal penggorengan hingga menit yang ke-6 penambahan kadar minyak masih relatif sedikit dari kadar minyak awal (3.50%) menjadi 4.74%, pada menit ke-12 hingga akhir penggorengan (menit ke-36) terjadi peningkatan kadar minyak yang mendekati linier dari 8.29% sampai 15.73%.

Proses transfer massa air dan massa minyak pada bahan tersebut terjadi karena proses difusi yang disebabkan karena perbedaan konsentrasi air ataupun minyak antara permukaan dan dalam bahan. Kecepatan proses transfer massa air dipengaruhi oleh sifat difusivitas air dalam padatan (D_w) dan kecepatan proses transfer massa minyak dipengaruhi oleh sifat difusivitas minyak dalam padatan (D_o). Air yang berada di permukaan bahan akan cepat menjadi uap karena adanya kontak langsung dengan minyak goreng yang memiliki suhu di atas titik didih air, akibatnya konsentrasi air pada permukaan bahan

selalu lebih rendah dibandingkan konsentrasi air yang berada di dalam bahan. Massa air akan terdifusi dari dalam ke permukaan bahan secara kontinyu sampai akhir penggorengan, sebagian kecil air akan tersisa dalam bahan sebagai kadar air akhir bahan masak goreng. Konsentrasi minyak juga berbeda antara permukaan dan di dalam bahan. Permukaan bahan yang langsung kontak dengan minyak goreng memiliki konsentrasi minyak lebih tinggi dibandingkan dengan di dalam bahan, akibatnya proses difusi minyak berlangsung dari permukaan ke dalam bahan. Minyak akan masuk ke dalam bahan menempati pori-pori yang ditinggalkan oleh air (Pinthus *et al.*, 1995), proses difusi minyak berlangsung terus sampai akhir penggorengan bahkan pada waktu pendinginan pasca penggorengan (Pinthus & Sagui, 1994; Moreira & Barrufet, 1998).

Proses transfer massa air dan massa minyak selama penggorengan dapat dimodelkan matematik, model transfer massa air dinyatakan pada Persamaan (9) dan Persamaan (13) menyatakan model transfer massa minyak. Riwayat kadar air prediksi dan kadar minyak prediksi masing-masing ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa garis kadar air prediksi berada di dekat titik-titik observasi, demikian juga dengan Gambar 8 menunjukkan bahwa garis kadar minyak prediksi berdekatan dengan titik-titik observasi. Analisa statistik juga menunjukkan bahwa garis prediksi berdekatan dengan titik-titik observasi, baik untuk riwayat kadar air maupun kadar minyak. Kedekatan antara titik-titik observasi dan garis prediksi ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (R^2), dengan nilai R^2 masing-masing untuk R^2 riwayat kadar air sebesar 0.9896 ($R^2 > 0.75$) dan untuk R^2 riwayat kadar minyak sebesar 0.9714 ($R^2 > 0.75$), nilai-nilai R^2 tersebut menunjukkan bahwa masing-masing model valid untuk memprediksi riwayat kadar air dan kadar minyak bahan makanan selama proses penggorengan (Edwards, 1976).

KESIMPULAN

Model matematik yang dikembangkan untuk proses penggorengan terbukti valid dalam memprediksi suhu, kadar air dan kadar minyak. Hasil prediksi simultan dapat menghasilkan riwayat suhu, kadar air dan kadar minyak yang mendekati nilai observasi dengan nilai nilai R^2 mendekati 1 (satu). Masing masing nilai : R^2 prediksi suhu = 0.991, R^2 prediksi kadar air = 0.9896 dan nilai R^2 prediksi kadar minyak = 0.9714

LAMBANG DAN SIMBUL

Lambang dan Simbul

A	: Luas penampang melintang (m^2)
a,b,c	: Konstante
C_{pi}	: Panas spesifik dari i (J/kg^0C)
$D_{\beta\sigma}$: Diffusivitas (m^2/S)
h_1	: Koef. Trans panas konveksi, konveksi bebas ($W/m^{20}C$)
h_2	: Koef. Trans panas konveksi, batas didih ($W/m^{20}C$)
ΔH_c	: Energi untuk pemasakan (W/m^2)
ΔH_g	: Energi untuk gelatinisasi (W/m^2)
k_{eff}^i	: Konduktivitas panas efektif bagian i (W/m^0C)
K_y	: Koefisien transfer massa konveksi ($kg.mol/dt.Pa.m^2$)
L	: Setengah ketebalan bahan (m)
N_{ix}	: Fluks spesies arah sumbu -x (kg/m^2dt)
q_x	: Fluks panas arah sumbu -x (W/m^2)
R^2	: Koefisien korelasi
t	: Waktu (detik)
T	: Suhu (0C)
T_G	: Suhu gelatinisasi (0C)
T_c	: Suhu bahan masak (0C)
Z	: Jarak

Subskrip

W	: Air
O	: Minyak

DAFTAR PUSTAKA

- Bird, R. B., Stewart, W. E. and Lightfoot, E. N. (2002). *Transport Phenomena*. 2nd Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Costa, R. M., Fernanda, A. R., Delaney, O., Gekas, V. (1999). *Analysis of The Heat Transfer Coefficient during Potato Frying*. Journal of Food Engineering, 39 : 293 – 299.
- Edwards, A.L., (1976). *an Introduction to Linier regression on Correlation For India*, National Seed Corporation, New delhi.
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. (2001a). *Colour Changes during Deep Fat Frying*. Journal of Food Engineering, 48, 219 – 225.
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. (2001b). *Deep Fat Frying of Potato Strips – Quality Issues*. Drying Technology, 19(25) : 879 – 935.
- Moreira, R. G. and Barrufet, M. A. (1996). *Spatial Distribution of Oil After deep-fat Frying Tortilla Chips from a Stochastic Model..* Journal of Food Engineering, 27, 279 – 290.
- Moreira, R. G. and Barrufet, M. A. (1998). *A New Approach to Describe oil adsorption in fried foods : a simulation studi*. Journal of Food Engineering, 35, 1 – 22.
- Pinthus, E. J. and Sagui, I. S. (1994). *Initial Interfacial Tension and Oil Uptake by Deep-Fat Fried Foods*. Journal of Food Science, 59 (4), 804-807.
- Pinthus, E. J., Weinberg, P., Sagui, I. S. (1995). *Oil Uptake in Deep-Fat Frying as Affected by Porosity*. Journal of Food Science, 60 (4), 767-769.
- Pinthus, E. J., Weinberg, P., Sagui, I. S. (1995). *Deep-Fat Fried Potato Product Oil Uptake as Affected by Crust Physical Properties*. Journal of Food Science, 60 (4), 770-772.
- Rudd, D.F, and Watson, C.C. (1968). *Strategy of Process Engineering*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Sahin, S., Sastry, S. K., Bayindirli, L. (1999). *The Determination of Convective Heat Transfer Coefficient During Frying*. Journal of Food Engineering, 39 ; 307 – 311.
- Sediawan, W.B. (1992). *Optimasi dalam Teknik Kimia*. Diktat Kuliah Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Singh, R.P. and Heldman, D.R. (1993). *Introduction to Food Engineering*. 2nd Edition. Academic Press, Inc., New York, NY.